

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Januar 2002 (31.01.2002)

PCT

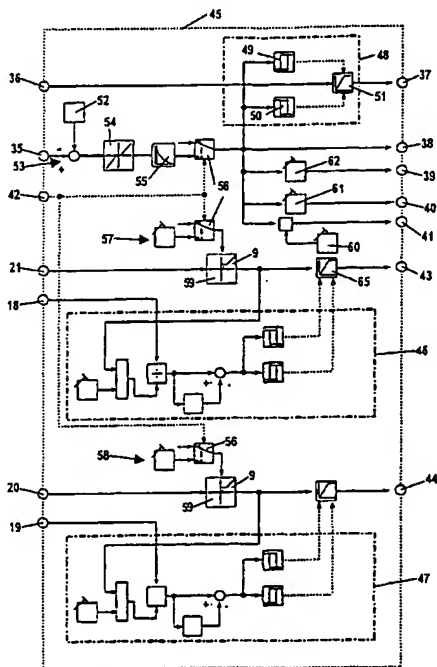
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/08576 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: F01K 23/10 (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/07653 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BESCHERER, Helmut [DE/DE]; Dresdner Str. 53, 90765 Fürth (DE). DIEGEL, Dieter [DE/DE]; Altenseestr. 10, 91341 Röttenbach (DE). FRANK, Reinhard [DE/DE]; In der Reuth 119, 91056 Erlangen (DE). ZAVISKA, Oldrich [DE/DE]; Stettiner Str. 6, 91058 Erlangen (DE). HENNING, Michael [DE/DE]; Schwedlerstr. 41, 91058 Erlangen (DE). GOTTFRIED, Peter [DE/DE]; Südliche Stadtmauerstr. 26, 91054 Erlangen (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 4. Juli 2001 (04.07.2001)  
(25) Einreichungssprache: Deutsch  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität: 00115684.3 21. Juli 2000 (21.07.2000) EP (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE). (81) Bestimmungsstaaten (national): AU, CN, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE PRIMARY CONTROL IN A COMBINED GAS/STEAM TURBINE INSTALLATION

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR PRIMÄRREGELUNG MIT EINER KOMBINIERTEN GAS- UND DAMPFTURBINENANLAGE



(57) Abstract: The aim of the invention is to improve a method for the primary control so that reserve power that is practically completely available for the effective frequency boost within seconds is available also in the steam turbine part of a gas/steam turbine installation. To this end, the pressure stage is operated with a control valve (6, 7, 8) that is throttled to such an extent that a frequency boost power reserve is built up. Said power reserve is used for frequency boosting in the event of an underfrequency by correcting the desired value depending on the underfrequency. Said corrected value corresponds to an effective area of flow that is increased vis-à-vis the throttled condition of the control valve (6, 7, 8) and acts on the effective area of flow of the control valve (6, 7, 8) with an impressed signal that approaches zero after a predetermined time. Said signal is chosen in such a manner that, despite the correction of the desired value, a stable operative condition is maintained in accordance with the response behavior of the gas/steam turbine installation to the increased effective area of flow.

(57) Zusammenfassung: Um ein Verfahren zur Primärregelung so zu verbessern, daß bei der Gas- und Dampfturbinenanlage eine Reserveleistung auch im Dampfturbinenteil vorgesehen ist, die praktisch vollständig für die effektive Frequenzstützung im Sekundenbereich zur Verfügung steht, wird vorgeschlagen, daß die Druckstufe mit einem derart angedrosselten Stellventil (6, 7, 8) gefahren wird, daß eine Frequenzstützungs-Leistungsreserve aufgebaut wird, welche bei Unterfrequenz dadurch zur Frequenzstützung genutzt wird, daß nach Maßgabe der Frequenzunterschreitung eine Sollwertkorrektur gebildet wird, die einem gegenüber dem angedrosselten Zustand des Stellventils (6, 7, 8) erhöhten Durchlaßquerschnitt entspricht und die mit einem aufgeprägten, zeitlichen Verschwindensignal auf den Durchlaßquerschnitt des Stellventils (6, 7, 8) einwirkt, wobei das zeitliche Verschwindensignal derart bemessen ist, daß unter Berücksichtigung des Antwortverhaltens der Gas- und Dampfturbinenanlage auf den erhöhten Durchlaßquerschnitt trotz Sollwertkorrektur ein stabiler Betriebszustand gewahrt bleibt.

den Durchlaßquerschnitt des Stellventils (6, 7, 8) einwirkt, wobei das zeitliche Verschwindensignal derart bemessen ist, daß unter Berücksichtigung des Antwortverhaltens der Gas- und Dampfturbinenanlage auf den erhöhten Durchlaßquerschnitt trotz Sollwertkorrektur ein stabiler Betriebszustand gewahrt bleibt.

WO 02/08576 A1



(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

## Beschreibung

### Verfahren zur Primärregelung mit einer kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Primärregelung mit einer kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Die Gas- und Dampfturbinenanlage hat ein Gasturbinenteil und ein Dampfturbinenteil mit zumindest einer Druckstufe. Der Arbeitsdampf des Dampfturbinenteils wird durch einen oder mehrere mit der Abwärme des Gasturbinenteils gespeisten Abhitzekessel erzeugt. Die Druckstufe hat mindestens ein Dampfturbinen-Stellventil. Der Stellventil-Durchlaßquerschnitt wird dabei durch eine Regelung eingestellt, deren Sollwertbildung unter Verwendung eines leistungsrelevanten Regelparameters der Druckstufe erfolgt. Leistungsrelevanter Regelparameter bedeutet, daß die Regelung eine Regelung der Leistung der Druckstufe erlaubt. Dabei kann der leistungsrelevante Regelparameter auch die Leistung der Druckstufe selber sein. Hierauf wird später noch näher eingegangen.

Eine Abweichung der momentanen Netzfrequenz von einer Netz-Sollfrequenz wird in einer Frequenzregelung ermittelt und es wird im Sinne einer Kompensation entgegengesteuert.

Netzbetreiber müssen grundlegende Eigenschaften des Netzbetriebes garantieren. Hierzu gehört insbesondere auch eine bestimmte, zeitliche und bezüglich der angeforderten elektrischen Leistung stabile Stromfrequenz (Europa: 50 Hz). Abweichungen hiervon werden nur in bestimmten engen Grenzen toleriert. Die Frequenzstabilität wird im Netz durch einen dynamischen Last-/Leistungsausgleich sichergestellt. Hierzu muß innerhalb von Sekunden beträchtliche Reserveleistung zur Verfügung stehen. Diese Reserveleistung müssen die Netzbetreiber als Dienstleistung einkaufen.

Bei kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlagen wird diese Reserveleistung bisher von der Gasturbinenteilanlage bereitgestellt. Kombinierte Gas- und Dampfturbinenanlagen sind Anlagen, in denen den Gasturbinen Abhitzekessel zum Betrieb einer Dampfturbinenanlage nachgeschaltet sind. Im allgemeinen wird dabei die Abgastemperatur der Gasturbinen über einen großen Leistungsbereich konstant gehalten. Bei einem derartigen Betrieb sind jedoch der Veränderung der Gasturbinenleistung Grenzen gesetzt. Begrenzt wird die Lastwechselfähigkeit im wesentlichen von der Dynamik der Abgastemperaturregelung und damit der Änderbarkeit des Luftmassenstroms der Gasturbine. Der Dampfturbinenteil der Anlage folgt den Leistungsänderungen der Gasturbinen im allgemeinen mit dem erheblich trägeren Zeitverhalten des Abhitzeprozesses. Bei kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlagen im Frequenzregelbetrieb wird also heute die vom Netz geforderte Leistungsänderung allein mit dem Gasturbinenteil der Anlagen erbracht, da der Dampfturbinenteil in den ersten Sekunden nichts dazu beiträgt. Der Wasser-/Dampfkreis d. h. die Dampferzeugung und die Dampfturbine, ist nur ein passives Teil der gesamten Gas- und Dampfturbinenanlage, welches lediglich die Funktion eines Abwärmeverwerters erfüllt.

Demzufolge muß die Gasturbine die gesamte Reserveleistung bei der Primärregelung alleine erbringen. Deshalb sind beim Betrieb der Anlage die Frequenzregelreserven bei der Gasturbine alleine einzukalkulieren und die stationär gefahrene Blockleistung ist dann um einen entsprechend höheren Anteil reduziert.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, das es erlaubt, bei der Gas- und Dampfturbinenanlage eine Reserveleistung auch im Dampfturbinenteil vorzusehen, die praktisch vollständig für die effektive Frequenzstützung im Sekundenbereich zur

Verfügung steht.

Die Erfindung bietet den Vorteil, daß im Sekundenbereich praktisch die gesamte Reserveleistung, die sowohl für den Gas- als auch für den Dampfteil vorgesehen ist, bereitgestellt werden kann. Insbesondere ist die auf den Dampfteil entfallende Reserveleistung erfindungsgemäß im Sekundenbereich bereitstellbar. Die im Stand der Technik genannte Verzögerung der Reaktion des Dampfturbinenteils entfällt somit. Die Anlagen können damit die Reserveleistung bei höherer Blockleistung vorhalten und die Entbindung der Regelreserve im Sekundenbereich wird durch den Beitrag der Dampfturbine dynamisch verbessert. Die Betreiber der kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlagen erzielen somit neben den Erlösen durch Teilnahme an der Frequenzregelung auch Mehreinnahmen aus der Stromerzeugung mit höherer Blockleistung.

Dieser Vorteil wird dadurch erreicht, daß für den Dampfteil eine Frequenzstützungs-Leistungsreserve im Kesselspeicher aufgebaut wird. Dazu wird die Druckstufe mit einem angedrosselten Stellventil gefahren. Durch die Androsselung baut sich vor dem Stellventil ein Staudruck auf, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht ist zwischen dem herrschenden Druck und dem Massenstrom. Die Frequenzstützungs-Leistungsreserve wird bei Unterfrequenz dadurch zur Frequenzstützung genutzt, daß nach Maßgabe der Frequenzunterschreitung eine Sollwertkorrektur gebildet wird. Die Sollwertkorrektur bezieht sich auf den Sollwert des Regelparameters, der in der betreffenden Gas- und Dampfturbinenanlage zur Soll-Ist-Regelung verwendet wird. Dies bedeutet, daß in Abhängigkeit des Betrages, um den die aktuelle Frequenz die Sollfrequenz unterschreitet eine Sollwertkorrektur gebildet wird, die der Frequenzabweichung entgegenwirkt.

Die Sollwertkorrektur entspricht daher einem gegenüber dem

angedrosselten Zustand des Stellventils erhöhten Durchlaßquerschnitt. Sie wirkt mit einem aufgeprägten, zeitlichen Verschwindensignal auf den Durchlaßquerschnitt des betreffenden Stellventils ein. Dadurch wird der betreffende Durchlaßquerschnitt um ein der Sollwertkorrektur gemäß dem zeitlichen Verlauf des aufgeprägten Verschwindensignal entsprechendes Maß erhöht, d. h. die Androsselung insoweit aufgehoben. Demzufolge wird die aufgespeicherte Frequenzstützungs-Leistungsreserve (zumindest teilweise) bei Unterfrequenz zur Frequenzstützung freigesetzt.

Die Androsselung und die Aufhebung der Androsselung wird somit über die Ventilstellung bewirkt. Dabei bedeutet Androsselung, daß der Durchlaßquerschnitt des Stellventils verengt wird und durch Druckanstieg vor dem Ventil der gleiche Massenstrom wie vor der Androsselung beim voll geöffneten Ventil weiter fließt.

Dabei dient das zeitliche Verschwindensignal dazu, die erwähnte Aufhebung der Androsselung in ihrer Zeitdauer und in ihrer Höhe zu begrenzen. Es entspricht einer temporären Verstärkung der Sollwertkorrektur. Das zeitliche Verschwindensignal startet mit einem endlichen Wert und fällt nach einer vorbestimmten Zeit auf Null ab. Dabei kann das Verschwindensignal beispielsweise mit der Sollwertkorrektur multipliziert sein, so daß das Ergebnis (z.B. über einen Öffnungsregler) auf das betreffende Stellventil einwirkt. Vorzugsweise fällt demnach das sich ergebende Gesamtsignal, welches dem Maß der Aufhebung der obengenannten Androsselung entspricht, nach der vorbestimmten Zeitdauer auf Null ab, so daß dann der Zustand ohne Sollwertkorrektur wiederhergestellt ist.

Das zeitliche Verschwindensignal ist nach seiner Stärke, seinem Verlauf und seiner Zeitdauer derart bemessen, daß unter Berücksichtigung des Antwortverhaltens der Gas- und Dampfturbinenanlage auf den erhöhten Durchlaßquerschnitt unter der Sollwertkorrektur ein stabiler Betriebszustand

gewahrt wird. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, daß der Durchlaßquerschnitt des Stellventils nur so weit und nur so lange erhöht werden kann, daß der Druck nicht zu stark abfällt. Hierauf wird später noch näher eingegangen. Die Beteiligung des Dampfteils an der Frequenzstützung ist erstmals durch die Erfindung möglich, wodurch die obengenannten Vorteile erreicht werden können. Damit wird es zugleich mit der Erfindung erstmals möglich, daß sich eine Gas- und Dampfturbinenanlage an der Frequenzregelung sowohl mit dem Gasturbinenteil als auch mit dem Dampfturbinenteil wirtschaftlicher beteiligen kann. Hierbei wird der Gasturbinenteil bei Unterfrequenz durch den Dampfturbinenteil entlastet und muß in den ersten Sekunden nicht mehr die gesamte zur Frequenzstützung erforderliche Leistungsreserve alleine aufbringen.

Das erfindungsgemäße Verfahren bietet für Gas- und Dampfturbinenanlagen des weiteren den Vorteil, daß die im Falle einer Unterfrequenz zur Frequenzstützung nötige Mehrleistung nicht erst durch Leistungseintrag im Augenblick der Anforderung eingebracht wird, sondern bereits vorher durch eine vorübergehend geringfügig erhöhte Leistung des Gasturbinenteils. Der erforderliche, vorübergehend geringfügig erhöhte Leistungsanteil für den Aufbau der Dampfspeicherreserve geht aber nicht verloren, sondern wird gerade bei der Frequenzstützung durch Ausspeicherung des Dampfspeichers wieder genutzt. Die während des Aufbaus der Dampfspeicherreserve vorübergehend geringere Dampfturbinenleistung kann über eine blockübergreifende Leistungsführung durch die Gasturbinenleistung problemlos ausgeglichen werden, so daß darüber den Leistungsanforderungen an den Block in seiner Summe stets entsprochen werden kann.

Bevorzugte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Es wird vorgeschlagen, daß der leistungsrelevante Regelparameter der im Bereich des Stellventils herrschende Vordruck ist, welcher ermittelt wird durch Messung des Dampfdurchsatzes und Umrechnung mit Hilfe einer für die Druckstufe charakteristischen, modifizierten Gleitdruckkennlinie, die einem angedrosselten Stellventil entspricht. Die Ventilstellung wird also aus der modifizierten Gleitdruckkennlinie ermittelt. Dabei wird ein Drucksollwert berechnet, der den einzustellenden Druckwert innerhalb der Druckstufe repräsentiert. Der Zusammenhang zwischen dem momentanen Dampfdurchsatz und dem Druck wird durch die für die Druckstufe charakteristische, modifizierte Gleitdruckkennlinie gegeben. Dabei ist die modifizierte Gleitdruckkennlinie bezogen auf einen gegenüber dem voll geöffneten Stellventil (natürliche Gleitdruckkennlinie) verringerten Durchlaßquerschnitt.

Im modifizierten Gleitdruckbetriebspunkt ist in diesem Sinne eine Leistungsreserve in der Druckstufe verfügbar. Diese Leistungsreserve kann bei Unterfrequenz erfindungsgemäß durch eine geregelte Erweiterung des Durchlaßquerschnittes des Stellventils zur Frequenzstützung genutzt werden.

Das zeitliche Verschwindesignal ist ein mit einer Zeitkonstante abklingendes Abklingsignal. Bei einer Abkling-Zeikonstante = 0 kann das Verschwindesignal auch ein Rechtecksignal sein. Bevorzugt wird aber ein Verschwindesignal, bei dem die Zeitkonstante und/oder die Signalform des Abklingsignals ein Modell der zeitlichen Impulsantwort der kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage ist. Die Zeitkonstante gibt dabei die Geschwindigkeit der Abnahme des Abklingsignals an. Näherungsweise ist das Abklingsignal nach ca. 3 bis 6 Zeitkonstanten ausreichend bzw. vollständig abgeklungen. In dem Abklingsignal sind die wesentlichen Parameter der Gas- und Dampfturbinenanlage berücksichtigt; damit entspricht das Abklingsignal dem



Verhalten des Dampfteils bei Aufhebung der Androsselung unter Berücksichtigung des Gasteils und insbesondere der Dampferzeugung des Dampfteils.

Bevorzugt entspricht das zeitliche Verschwindensignal einer  $D-T_n$ -Modellfunktion der kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage. Dabei steht  $n$  für 1, 2 oder mehr. Es handelt sich um ein verzögertes Differenzierverhalten, das dem realen Verhalten angepaßt ist und im Idealfall das reale Verhalten widerspiegelt. Die  $D-T_1$ -Funktion hat einen sprunghaften Anstieg und darauffolgend einen mit der Zeitkonstante abnehmenden Verlauf. Die  $D-T_2$ -Funktion hat demgegenüber keinen sprunghaften Anstieg, sondern einen kontinuierlichen Anstieg, der ebenfalls eine Zeitkonstante aufweist. Die Zeitkonstante des ansteigenden Zweiges ist aber wesentlich kleiner als die des abnehmenden Zweiges.

Die  $D-T_n$ -Funktion kann durch folgenden Zusammenhang mathematisch dargestellt werden:

Dabei sind

$T_D$  eine geeignete Vorhaltzeitkonstante,  
 $s$  der entsprechende Laplace-Operator und  
 $T_n$  die entsprechenden Zeitkonstanten,

die jeweils für die betreffende Anlage charakteristisch sind. Auf diese Weise kann eine geeignete Modellfunktion abgeleitet werden.

Die Verwendung der  $D-T_n$ -Funktion gewährleistet, daß die Sollwertkorrektur mit einem für die Gas- und Dampfturbinenanlage charakteristischen Zeitverhalten auf den Durchlaßquerschnitt des Stellventils einwirkt.

Abhängig von der Speicherfähigkeit des Dampfteiltes der Anlage

sind die Zeitkonstanten auszuwählen. Für die meisten Anlagen betragen die Zeitkonstanten zwischen 10 und 200 Sekunden.

Bevorzugt erfolgt eine für die kombinierte Gas- und Dampfturbinenanlage gemeinsame Blockleistungsführung. Ist eine solche vorgesehen, so wird vorgeschlagen, daß die Sollwertkorrektur, insbesondere mit aufgeprägtem, zeitlichen Verschwindesignal, zusätzlich in einer Stoppschaltung der Blockleistungsführung verarbeitet wird, wobei die Stoppschaltung eine Korrektur der Blockleistung über die Blockleistungsführung stoppt, die einer Leistungsänderung der Druckstufe/des Dampfturbinenteils aufgrund der Sollwertkorrektur, insbesondere mit aufgeprägtem, zeitlichen Verschwindesignal, entgegenwirken würde. Die Sollwertkorrektur wird demzufolge in die Stoppschaltung der Blockleistungsführung eingespeist.

Dies bedeutet, daß bei Erhöhung des Durchlaßquerschnittes des Stellventils aufgrund der Sollwertkorrektur, insbesondere mit aufgeprägtem, zeitlichen Verschwindesignal, in der Blockleistungsführung zunächst eine Erhöhung der Blockleistung registriert werden würde, woraufhin die Blockleistungsführung der ansteigenden Blockleistung entgegenwirken würde. In diesem Fall ist aber die Erhöhung der Blockleistung aufgrund der Sollwertkorrektur gewünscht, so daß die Gegenwirkung zur Blockleistungserhöhung - das ist die obengenannte Korrektur der Blockleistung - in diesem Fall gestoppt werden muß.

Dies gilt auch für den entgegengesetzten Fall, nämlich daß der Durchlaßquerschnitt des Stellventils wieder verringert wird. Eine Verringerung des Durchlaßquerschnittes kommt beispielsweise aufgrund zu hoher Netzfrequenz in Betracht. Dann würde die Blockleistungsführung - entsprechend dem oben genannten Fall - eine Verringerung der Blockleistung registrieren und dieser entgegenwirken wollen. In diesem Fall muß die Erhöhung - das ist die obengenannte Korrektur der

Blockleistung - wiederum gestoppt werden. Mit der genannten Stoppschaltung funktioniert die Erfindung effektiver, da eine Gegenreaktion der Blockleistungsführung zur Wirkung der Sollwertkorrektur - insbesondere mit aufgeprägtem, zeitlichen Verschwindesignal - verhindert wird.

Eine Gegensteuerung der Sollwertführung für den modifizierten Gleitdruck, die eventuellen Einspeichervorgängen oder Ausspeichervorgängen ebenfalls entgegenwirken würde, wird dadurch vermieden, daß eine Bestimmung des Druckverlaufs und des Dampfdurchsatzverlaufs in der Druckstufe erfolgt und bei Gegenläufigkeit der vorgenannten Größen die jeweils der Tendenz des Regelparameters entgegenwirkende Richtung der Sollwertänderung gestoppt wird. Ein Einspeichervorgang liegt bei Androsselung des Stellventils vor, wenn die Leistungsreserve aufgebaut wird. Ein Ausspeichervorgang liegt vor, wenn die Androsselung aufgehoben und die eingespeicherte Leistungsreserve - zumindest teilweise - zur Frequenzstützung freigesetzt wird. Dabei verringert sich der Druck in der Druckstufe aufgrund der Erhöhung des Durchlaßquerschnittes, wobei gleichzeitig der Dampfdurchsatz ansteigt. In diesem Fall verhalten sich die beiden Größen also gegenläufig. Dann wird die Erhöhung des Drucksollwertes, der in diesem Falle entgegenwirken würde, gestoppt.

Die Erfindung wird anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockdiagramm einer Gas- und Dampfturbinenanlage,

Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild einer Regeleinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens

In dem schematischen Blockdiagramm der Fig. 1 ist eine Gas- und Dampfturbinenanlage 1 gezeigt in Ausführung mit 2 Gasturbinen mit je einem nachgeschalteten

Dreidruckabhitzeessel und 1 Dampfturbine. Die Gas- und Dampfturbinenanlage 1 hat ein Gasturbinenteil 2 und ein Dampfteil 3. Es ist eine übergeordnete Blockführung 10 vorgesehen, die die koordinierte Steuerung und Regelung der gesamten Gas- und Dampfturbinenanlage 1 erlaubt. Der Gasturbinenteil 2 umfaßt zwei Gasturbosätze 25,26. Jeder Gasturbinensatz 25,26 weist einen Verdichter 29, ein Turbinenteil 30 und einen Generator 28 auf. Zur Regelung des Gasturbosatzes 25 ist eine Gasturbinenregelung 31 vorgesehen. Ihre Leistungs-Sollwerte 34 erhalten die Gasturbosätze 25,26 von der Blockführung 10. In die Gasturbinenregelung 31 werden ein Gasturbinenleistungs-Istwert 32 und ein Gasturbinendrehzahl-Istwert 33 eingespeist. Die Gasturbinendrehzahl wird als Istwert für die Frequenzregelung des Gasturbosatzes verwendet. Der zweite Gasturbosatz 26 ist entsprechend aufgebaut.

Die Abwärme der beiden Gasturbosätze 25,26 wird jeweils über einen Abgaskanal 27 an den jeweils nachgeschalteten Abhitzeessel 4,5 des Dampfteils 3 in der Gas- und Dampfturbinenanlage 1 geleitet. In jeder Druckstufe der Abhitzeessel (es sind drei Druckstufen dargestellt) wird über die zugeführte Abwärme Dampf erzeugt, der in einer nachgeschalteten Dampfturbine 11,12,13 zur Stromerzeugung genutzt wird. In jeder Druckstufe sind Stellorgane (Stellventile oder Stellklappen) 6, 7,8 am Dampfturbineneintritt vorhanden für die Beeinflussung des Dampfdurchsatzes durch die Dampfturbine, welcher letztlich die Dampfturbinenleistung bestimmt.

Zur Ermittlung der momentanen Netzfrequenz wird für die Dampfturbinenregelung 15 der Istwert der Dampfturbinendrehzahl 35 abgegriffen. Dort wird aufgrund des gemessenen Dampfturbinendrehzahl-Istwertes 35 eine Abweichung der momentanen Frequenz von einer Netz-Sollfrequenz ermittelt. Die Regelung 15 der Dampfturbine wirkt einer solchen Abweichung im Sinne einer Kompensation dynamisch,

d.h. vorübergehend, entgegen. Dazu werden die Stellventile der einzelnen Druckstufen nach Maßgabe von Stellsignalen betätigt, die von der Frequenzabweichung abhängig sind. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist jeweils ein Frischdampfstellventil 6 für eine Hochdruckstufe und ein Mitteldruckstellventil 7 für eine Mitteldruckstufe vorhanden. Bei Überfrequenz wird durch Androsselung der Stellventile Dampf vorübergehend in das Dampfsystem eingespeichert, bei Unterfrequenz vorübergehend ausgespeichert. Entsprechend ergibt sich vorübergehend eine Leistungsminderung oder -erhöhung an der Dampfturbine.

Um bei Unterfrequenz überhaupt mit Ausspeicherung reagieren zu können, muß vorher eine Dampfspeicherreserve aufgebaut werden. Dies wird erreicht durch die Anhebung der Dampfdrücke mittels der Dampfturbinenventile in den einzelnen Druckstufen nach Vorgabe von modifizierten Gleitdruckkennlinien 9. Nach einer gewissen Zeitdauer der Androsselung der Stellventile 6, 7 ist ein modifizierter Gleitdruckbetriebspunkt erreicht, in welchem die Dampfspeicherreserve verfügbar ist. Die modifizierten Gleitdruckkennlinien 9 werden je Druckstufe als Funktion des Dampfmassenstroms zur Dampfturbine vorgegeben. Über eine spezielle, geeignete Erkennungsschaltung 46,47 wird ihr Wert während der zur Frequenzstützung genutzten Ausspeicherung vorübergehend gestoppt, damit über die Gleitdruckkennlinie dem Ausspeichervorgang nicht entgegengewirkt wird (hierauf wird später noch näher eingegangen, siehe Fig. 2).

Neben der Hochdruckteilturbine 11 und der Mitteldruckteilturbine 12 ist noch eine Niederdruckteilturbine 13 vorhanden (Fig. 1), welcher zusätzlich zu dem Abdampf aus der Mitteldruckteilturbine noch Dampf aus der Niederdruckstufe des Abhitzedampferzeugers zugeführt wird über eine Niederdruckstellklappe 8. Die Nutzung der Niederdruckstellklappe zur Frequenzstützung ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel nicht gezeigt.

Erfindungsgemäß kann aber auch die Niederdruckstellklappe 8 der Niederdruckteilturbine 13 für die Frequenzstützung benutzt werden.

Zur Bestimmung der modifizierten Gleitdruckkennlinie wird der Dampfmassenstrom 21, 20 der zugehörigen Druckstufe erfaßt und zur Ermittlung der Drucksollwerte je Druckstufe der Blockführung 10 zugeleitet. Ferner wird der vor dem jeweiligen Stellventil 6, 7 vorhandene Druck-Istwert 18, 19 abgegriffen und ebenfalls der Blockführung 10 zugeleitet. Mit den genannten, im Dampfkreislauf gemessenen Parametern kann die erfindungsgemäße Regelung erfolgen. Dazu wird der gemäß der Regelung ermittelte Hochdrucksollwert 16 bzw. der Mitteldrucksollwert 17 von der Blockführung 10 (wo die genannten Werte abgegriffen und die Regelparameter berechnet werden können) der Dampfturbinenregelung 15 zugeführt und dort zur Regelung der Dampfturbinenleistung verwendet.

Fig. 2 zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer Regeleinrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Diese ist eine Regeleinrichtung für Primärregelung 45, die aus jeweils einer Schaltung zur Nutzung der Hochdruckstufe und der Mitteldruckstufe der Dampfturbine einer kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage besteht. Damit bezieht sich das Blockschaltbild der Fig. 2 auf eine Regeleinrichtung zur Regelung einer Gas- und Dampfturbinenanlage gemäß Fig. 1, wo ebenfalls lediglich eine Androsselung bzw. Erweiterung der Durchlaßquerschnitte der Stellventile 6 und 7 der Hochdruckstufe und der Mitteldruckstufe vorgesehen sind. Die Schaltung kann in entsprechender, geeigneter Weise auch um die Nutzung der Stellklappe 8 der Niederdruckstufe erweitert werden.

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel wird der Stellventil-Durchlaßquerschnitt durch eine Regelung des Vordruckes bestimmt, wobei der Sollwert über eine modifizierte Gleitdruckkennlinie vorgegeben wird. Der Vordruck ist somit

der leistungsrelevante Regelparameter im Sinne des Anspruchs 1. Hierfür könnte auch direkt die Leistung der Druckstufe verwendet werden, sofern diese ermittelt wird. Vorliegend wird die Leistung in Druck umgerechnet.

Es kann ein Ein/Aus-Signal 42 vorgegeben werden, welches den erfindungsgemäßen Frequenzeinfluß einschaltet bzw. ausschaltet. Der Frequenzeinfluß wird beispielsweise ausgeschaltet, wenn die erfindungsgemäße Beteiligung der Dampfturbine an der Frequenzstützung nicht gewünscht wird. Dann wären die Schalter 56 in Aus-Stellung. Befinden sich die Schalter 56 in Ein-Stellung, ist die erfindungsgemäße Frequenzstützung aktiviert.

Der Hochdruckdurchfluß-Istwert 21 wird gemessen und in der Bewertungsschaltung 59 mittels der Gleitdruckkennlinie 9 in einen Sollwert umgerechnet. Die Hochdruckandrosselung 57 gibt das Maß der Androsselung des Stellventils 6 vor. Dieses wird dadurch berechnet, daß ein zusätzlicher Drucksollwertanteil vorgegeben wird, der unter Verwendung der Gleitdruckkennlinie 9 in dieser einen entsprechend modifizierten Gleitdruck als Sollwert ergibt. Der Drucksollwert wird daraufhin in die Sollwertführung 65 eingespeist und daraufhin an die Dampfturbinenregelung 43 (für das Hochdruckteil) weitergeleitet. Dort wird der Sollwert über eine Regelungsfunktion in einen Stellwert für das entsprechende Stellventil umgerechnet und wirkt dann auf das Stellventil ein.

Der Dampfturbinendrehzahl-Istwert 35 wird ständig abgegriffen und mit dem Frequenzsollwert 52 verglichen 53 (nachdem die Drehzahl in die entsprechende Frequenz umgerechnet wurde). Dabei wird die Frequenzabweichung mit einer vorgegebenen Statik 54 bewertet, die die Charakteristik der Drucksollwertkorrektur in Abhängigkeit von der vorliegenden Frequenzabweichung vorgibt. Dabei kann die Statik 54 ein vorgegebenes Totband haben; wenn die Frequenzabweichung

innerhalb des Totbandes liegt, ist die Drucksollwertkorrektur gleich Null. Die Drucksollwertkorrektur bekommt in dem dynamischen Block 55 ein zeitliches Verschwindensignal aufgeprägt.

Wenn der Schalter 56 in Ein-Stellung ist, wird die solchermaßen ermittelte Drucksollwertkorrektur über den Ausgang 38, an dem die durch das zeitliche Verschwindensignal dynamisch bewertete Drucksollwertkorrektur anliegt, an den der Druckstufe entsprechenden Druckregler weitergeleitet. Damit kann in diesem Druckregler die Abweichung aufgrund der Sollwertkorrektur berücksichtigt werden. Dies führt dazu, daß der Druckregler durch Anlegen der Sollwertkorrektur "ruhig" bleibt und der Istwertänderung nicht entgegenwirkt. Gleichzeitig wird die Drucksollwertkorrektur mit dem aufgeprägten, zeitlichen Verschwindensignal - durch einen Bewertungsfaktor 62 bewertet, der die Drucksollwertkorrektur in die entsprechende Ventilstellung umrechnet - über den Ausgang 39 an den Druckreglerausgang vom Hochdruckteil der Dampfturbine weitergegeben. Dadurch wird die entsprechende Einstellung des Stellwertes des Stellventils bewirkt.

Die dynamisch bewertete Drucksollwertkorrektur liegt- durch den Bewertungsfaktor 61 bewertet, der die Drucksollwertkorrektur in die entsprechende Ventilstellung umrechnet - entsprechend an dem Mitteldruckreglerausgang 40 an. Auch für die Mitteldruckstufe erfolgt eine Korrektur der Regelabweichung dadurch, daß die dynamisch und stationär bewertete Drucksollwertkorrektur 41 an dem Druckregler anliegt und somit ebenfalls den Druckregler für die Mitteldruckstufe "ruhig" hält.

Des weiteren ist eine Stoppschaltung 48 für die Blockleistungsführung vorgesehen, in welchem die Sollwertkorrektur mit dem aufgeprägten, zeitlichen Verschwindensignal verarbeitet wird. Diejenige Korrektur der Blockleistung wird dort gestoppt, die der Leistungsänderung



der Druckstufe/des Dampfturbinenteils aufgrund der Sollwertkorrektur mit dem aufgeprägten, zeitlichen Verschwindesignal entgegenwirkt. Dies ist durch die Binärsignale Stopp "höher" 49 und Stopp "tiefer" 50 repräsentiert. Die entsprechenden Stoppsignale wirken auf die Sollwertführung 51 der Blockleistungsführung ein, die gemäß dem Blockleistungssollwert 36 einen Leistungssollwert für die Gasturbine(n) an dem Reglerausgang 37 zur Regelung der Leistung ausgibt.

Anhand des Hochdruck-Istwertes 18 erfolgt in einer Hochdruck-Erkennungsschaltung 46 die Erkennung der Gegenläufigkeit des Hochdruck-Istwertverlaufs und des Massenstrom-Istwertverlaufs in der Druckstufe. Bei Gegenläufigkeit der vorgenannten Größen wird die jeweils der Tendenz des Hochdruck-Istwertes entgegenwirkende Richtung der Sollwertänderung gestoppt. Dazu erfolgt im einzelnen eine Quotientenbildung dieser Größen, woraufhin erkannt werden kann, ob die Größen sich gegenläufig entwickeln. Dann wird die Sollwertführung 65 in der obengenannten Weise jeweils gestoppt.

Es findet zudem auch eine Mitteldruckandrosselung 58 statt, die ebenfalls über einen Schalter 56 ein- und ausschaltbar ist. Auch dort erfolgt die Berechnung des Druckes über eine Bewertungsschaltung 59 unter Verwendung der modifizierten Gleitdruckkennlinie 9. Allerdings liegt am Eingang der Mitteldruckdurchfluß-Istwert 20 und am Ausgang das Ergebnis der Block-Drucksollwertführung 44 für den Mitteldruckteil an. Auch für den Mitteldruckteil ist eine Erkennungsschaltung 47 vorgesehen, die analog der obengenannten Hochdruck-Erkennungsschaltung 46 funktioniert. Dort liegt am Eingang der Mitteldruck-Istwert 19 an.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Primärregelung mit einer kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage im Netzbetrieb, mit einem Gasturbinenteil (2) und einem Dampfteil (3) mit zumindest einer Druckstufe, deren Arbeitsdampf durch einen oder mehrere mit der Abwärme des Gasturbinenteils (2) gespeisten Abhitzekessel (4,5) erzeugt wird und dessen Stellventil-Durchlaßquerschnitt durch eine Regelung eingestellt wird, deren Sollwertführung über einen leistungsrelevanten Regelparameter der Druckstufe erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckstufe mit einem derart angedrosselten Stellventil (6, 7,8) gefahren wird, daß eine Frequenzstützungs-Leistungsreserve aufgebaut wird, welche bei Unterfrequenz dadurch zur Frequenzstützung genutzt wird, daß nach Maßgabe der Frequenzunterschreitung eine Sollwertkorrektur gebildet wird, die einem gegenüber dem angedrosselten Zustand des Stellventils (6, 7,8) erhöhten Durchlaßquerschnitt entspricht und die mit einem aufgeprägten, zeitlichen Verschwindesignal auf den Durchlaßquerschnitt des Stellventils (6, 7,8) einwirkt, wobei das zeitliche Verschwindesignal derart bemessen ist, daß unter Berücksichtigung des Antwortverhaltens der Gas- und Dampfturbinenanlage auf den erhöhten Durchlaßquerschnitt trotz Sollwertkorrektur ein stabiler Betriebszustand gewahrt bleibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der leistungsrelevante Regelparameter der im Bereich des Stellventils (6, 7,8) herrschende Vordruck ist, welcher ermittelt wird durch Messung des Dampfdurchsatzes und Umrechnung mit Hilfe einer für die Druckstufe charakteristischen, modifizierten Gleitdruckkennlinie, die einem angedrosselten Stellventil (6, 7,8) entspricht.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zeitliche Verschwindensignal ein Rechtecksignal oder ein mit einer Zeitkonstante abklingendes Abklingsignal ist, wobei die Zeitkonstante und/oder die Signalform des Abklingsignals ein Modell der kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage (1) ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das zeitliche Verschwindensignal einer  $D-T_n$  - Modellfunktion der kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage (1) entspricht.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitkonstante oder die Länge des oben genannten Rechtecksignales zwischen 10 und 200 Sekunden beträgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Blockleistungsführung der kombinierten Gas- und Dampfturbinenanlage (1) erfolgt und daß die Sollwertkorrektur, insbesondere mit aufgeprägtem, zeitlichen Verschwindensignal, zusätzlich in einer Stoppschaltung (48) der Blockleistungsführung verarbeitet wird, die eine Korrektur der Blockleistung stoppt, die der Leistungsänderung der Druckstufe/des Dampfturbinenteils aufgrund der Sollwertkorrektur, insbesondere mit aufgeprägtem, zeitlichen Verschwindensignal, entgegenwirkt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Bestimmung des Druckverlaufs und des Massenstromverlaufs in der Druckstufe erfolgt und bei Gegenläufigkeit der vorgenannten Größen die jeweils der Tendenz des Regelparameters entgegenwirkende Richtung der Sollwertänderung gestoppt wird.

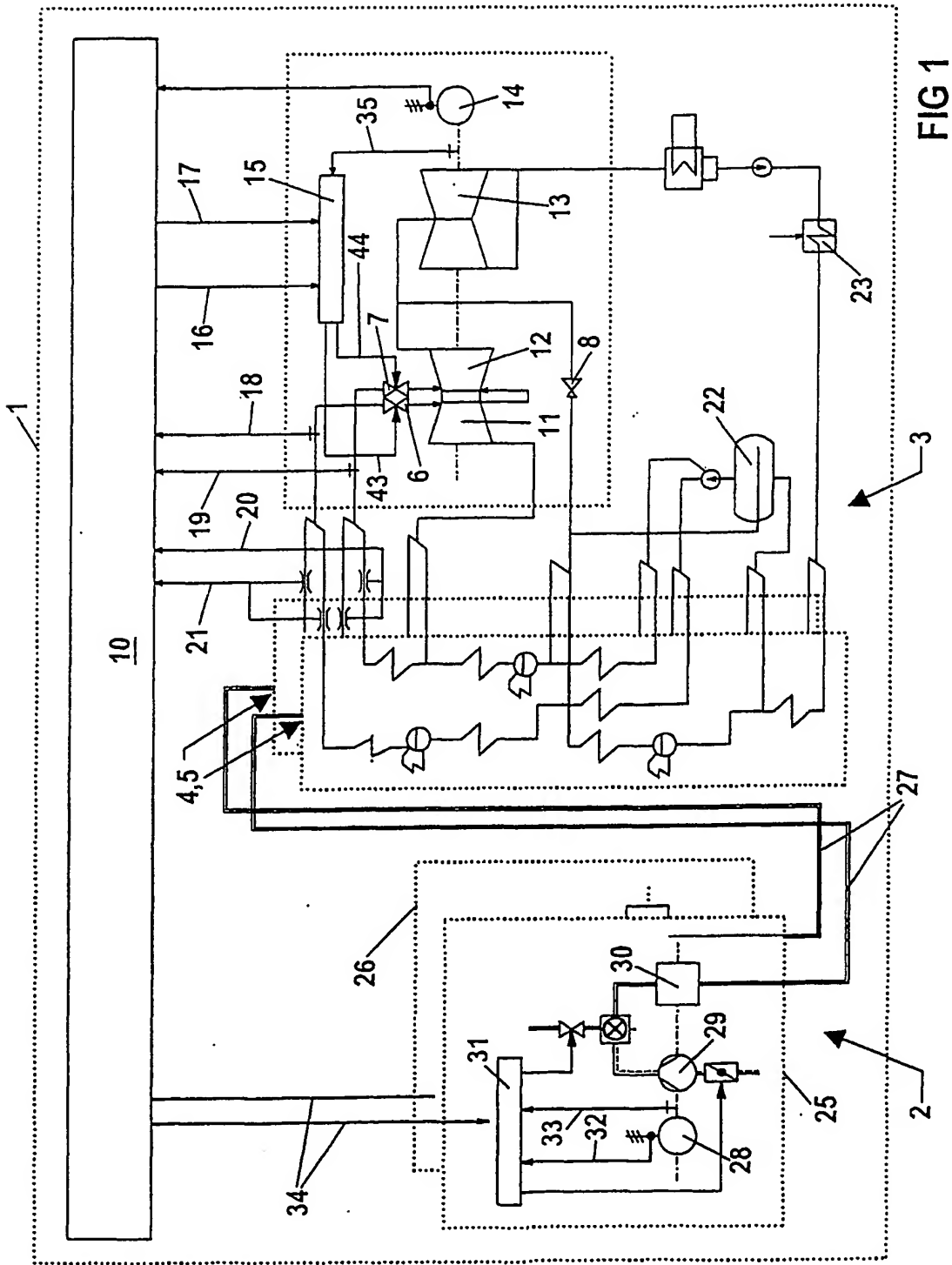


FIG 1

2/2

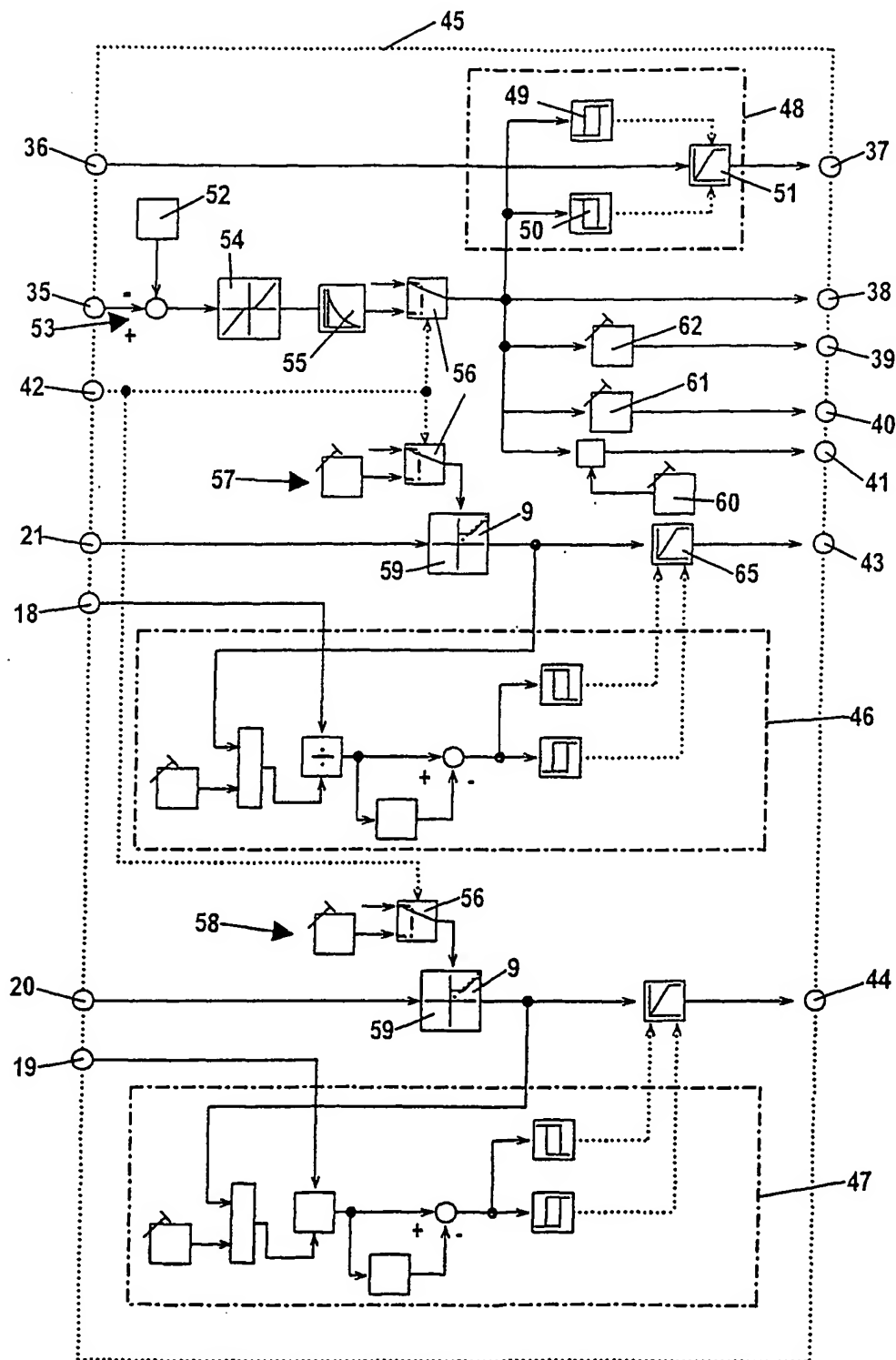


FIG 2

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 01/07653

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F01K23/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F01K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 976 914 A (ASEA BROWN BOVERI) 2 February 2000 (2000-02-02) column 5, line 26 - line 38 -----	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 November 2001

Date of mailing of the international search report

13/11/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Van Gheel, J

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 01/07653

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0976914 A	02-02-2000	EP 0976914 A1	02-02-2000

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

tionales Aktenzeichen  
PCT/EP 01/07653

A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 F01K23/10

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F01K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 976 914 A (ASEA BROWN BOVERI) 2. Februar 2000 (2000-02-02) Spalte 5, Zeile 26 - Zeile 38	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*a\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. November 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

13/11/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Van Gheel, J



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 01/07653

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0976914	A	02-02-2000	EP	0976914 A1	02-02-2000